DOI:10.11931/guihaia.gxzw202303012

间伐修枝对拉关木林下乡土红树植物的影响

陈春莲[1,2]，杨珊[1,2]，刘强[1,2*]，周佳逸[1,2]

（1. 热带岛屿生态学教育部重点实验室，海南省热带动植物生态学重点实验室，海南师范大学 生命科学学院，海口 571158；2. 海南省东寨港红树林湿地生态系统野外科学观测研究站，海口 570105）

摘　要：为探究保护区内对外来红树拉关木（*Laguncularia racemosa*）人工林不采取剧烈扰动生境的皆伐措施，而通过间伐修枝处理使拉关木逐渐退出更替为乡土红树林的新途径的影响，该研究以海南东寨港国家级自然保护区内拉关木林为研究区域，依托保护区对拉关木林进行间伐修枝，研究拉关木林间伐修枝的调控措施对恢复乡土红树群落的生态效应。结果表明：（1）间伐修枝后拉关木残桩萌枝的无性繁殖削弱了处理效果，但一次干预（50%强度的间伐修枝）和两次干预（50%强度的间伐修枝之后追加一次修枝）2 种处理之间，拉关木残桩萌枝的效果没有显著差异。（2）间伐修枝能丰富林下灌木层的乡土红树种类和促进其生长，且两次干预比一次干预的促进作用明显，但对草本层红树幼苗自然更新无显著影响。（3）在未间伐、间伐修枝和林缘 3 种样地中人工种植乡土红树苗木，间伐修枝对红海榄（*Rhizophora stylosa*）、秋茄（*Kandelia obovata*）幼苗的存活率有一定的促进作用；且间伐修枝处理对红海榄的生长有接近林缘条件的效果，但效果有限。建议在 50%强度间伐修枝的基础上加大间伐强度或修枝频率，在林下适当进行乡土红树植物的人工种植，同时清除拉关木残桩萌生的枝条，可以更有利于拉关木林向乡土红树林的转化。

关键词：外来红树，拉关木，间伐修枝，乡土红树，生态恢复

中图分类号：Q948　　　　　　　　**文献标识码**：A

Effects of thinning and pruning on the native mangrove plants in the understory of *Laguncularia racemosa* forest

CHEN Chunlian[1,2], YANG Shan[1,2], LIU Qiang[1,2*], ZHOU Jiayi[1,2]

（1. *Ministry of Education Key Laboratory for Ecology of Tropical Islands, Key Laboratory of Tropical Animal and Plant Ecology of Hainan Province, College of Life Sciences, Hainan Normal University,* Haikou 571158, China; 2. *Hainan Dongzhaigang, Mangrove Ecosystem, Provincial Observation and Research Station,* Haikou 570105, China）

Abstract: In order to investigate a new way to replace the exotic mangrove *Laguncularia racemosa* plantations gradually with native mangrove forests through thinning and pruning without drastic habitat disturbance in the reserve, this study took the exotic mangrove *L. racemosa* forests introduced in Hainan Dongzhai Harbor National Nature Reserve as the study area, and *L. racemosa* forests were thinning and pruning relying on the reserve. The purpose was to study the ecological effects of the thinning and pruning of L. racemosa forests on the restoration of native mangrove communities. The results show that: (1) Asexual reproduction of *L. racemosa* stump sprouting after thinning and pruning weakened the treatment effect, and there was no significant difference in the effect of *L. racemosa* stump sprouting between one intervention (50% intensity of thinning and pruning) and two interventions (50% intensity of thinning and pruning followed by an additional pruning). (2) Both intervention methods enriched native mangrove species and promoted their growth in the understory shrub layer, and the two interventions had a more

基金项目：国家自然科学基金(31960281)。

第一作者：陈春莲（1995-），硕士研究生，主要从事植物生态学研究，(E-mail)lian1227ccl@163.com。

*__通信作者__：刘强，博士，教授，主要从事恢复生态学和植物学研究，(E-mail)hnsylq@163.com。

significant promotion effect than the one intervention. However, there is no significant effect on the natural regeneration of mangrove seedlings in the herbaceous layer. (3) In the experiment of planting native mangrove seedlings in the three plots of non-thinning, thinning, and forest margin, the survival rates of *Rhizophora stylosa* and *Kandelia obovata* seedlings were promoted by the thinning and pruning measures. The effect of thinning and pruning treatment on the growth of *R. stylosa* seedlings was close to the forest margin conditions, but the effect was limited. Therefore, we suggest increasing the thinning intensity or pruning frequency based on 50% intensity thinning and pruning, carrying out artificial planting of native mangrove plants in the understory appropriately, and removing the sprouting branches from the stumps of *L. racemosa*, which is more conducive to the conversion of *L. racemosa* plantation to native mangrove community.

Key words: exotic mangrove, *Laguncularia racemosa*, thinning and pruning, native mangrove, ecological restoration

外来植物大多具有生长迅速，适应性强等特点，在其引种种植区容易形成单一的林分结构，造成生物多样性下降，并制约着林下及周边本地植物的生长（向言词等，2002）。如外来植物火炬树（*Rhus typhina*）（吴长虹等，2007）、刺槐（*Robinia pseudoacacia*）（罗玉洁，2016）、桉树（*Eucalyptus robusta*）（王震洪等，1998）有非常强的侵占力，在其成片生长的地方排挤乡土树种。在红树林生态系统中，无瓣海桑（*Sonneratia apetala*）的引入，不利于桐花树（*Aegiceras corniculatum*）和白骨壤（*Avicennia marina*）种群的发展（李玫等，2004）；另一引种植物拉关木（*Laguncularia racemosa*），为使君子科对叶榄李属真红树植物，于 1999 年从墨西哥引入到我国海南东寨港国家级自然保护区用于红树林湿地植被恢复（钟才荣等，2011）。但拉关木生长迅速林下结构单一，强大的繁殖能力使其扩散到乡土红树植物群落（王炳宇等，2020），可能对乡土红树群落构成潜在的入侵风险（刘强等，2019）。为了改善外来植物种植区的物种多样性，有必要对外来植物林进行一定程度的人工干预。

抚育间伐是人工林结构调控的重要措施之一，也是改善外来植物林下植被结构的重要手段。研究发现，通过间伐调整刺槐林的种群密度，在中、低密度水平下可增加灌木层和草本层物种多样性（伏成秀等，2021）。在人为采伐过的密度较小的日本落叶松（*Larix kaempferi*）成熟林的林下灌草盖度有所增加（刘明冲等，2020），且强度间伐的效果最好（汤景明等，2018）。黄木易等（2021）在桉树不同间伐强度下套种乡土树种的试验表明，强度间伐在促进林分生长、改善林分结构和土壤质量上更有优势。深圳福田红树林保护区对引种的无瓣海桑进行人工间伐，可加速乡土红树植物的自然恢复（胡涛等，2016）。近年来，三亚铁炉港、海南新盈红树林国家湿地公园、北海滨海国家湿地公园等地为遏制拉关木的入侵态势，正在清理拉关木并种植乡土红树植物替代。在保护地内实现拉关木林向乡土红树林转化是一个实践难题，也是湿地恢复生态学中如何进行物种替代修复的理论问题。海南东寨港国家级自然保护区为控制拉关木，对拉关木人工林进行了 2 种处理，即一次干预（50%强度的间伐修枝）和两次干预（50%强度的间伐修枝之后追加一次修枝）。

本研究以海南东寨港国家级自然保护区内引种的外来红树林拉关木林为研究区域，依托保护区对拉关木林进行间伐修枝的样地，采用样方调查法，通过比较间伐修枝的拉关木林与未进行间伐修枝的拉关木林林下的乡土红树植物恢复的情况，以及间伐后拉关木残桩的萌生情况，研究对拉关木林间伐修枝的调控措施对恢复乡土红树群落的生态效应，试图找到在不采用剧烈扰动生境的皆伐措施情况下，使拉关木有序退出更替为乡土红树林的新途径，拟探讨：（1）保护区采取的 2 种干预措施能否有效控制拉关木；（2）2 种干预对林下乡土红树植物的自然更新有何影响，对其影响两者间是否有差异；（3）以未干预样地和林缘裸滩样地为对照，间伐修枝对乡土红树植物的人工恢复有何影响。可为探寻有效管控外来红树拉关木的措施提供参考。

1 研究方法

1.1 研究地概况

研究样地位于海口市东寨港演丰镇星辉村至东排村沿海一带的外来红树植物种植区（ 110°35'05.22" E、19°57'57.51" N），潮型为不规则半日潮（廖宝文等，2005）。研究样地原为岸边裸滩，于 2011—2012 年植树造林，主要造林树种为拉关木，还有少量的无瓣海桑，造林密度为：2 m×1 m，行距 2 m，行与海岸垂直，株距 1 m。到 2018 年已经郁闭成林。

为了将外来红树种拉关木林逐渐转化为乡土红树植物群落，又避免采用皆伐对生境造成剧烈扰动的措施，海南东寨港国家级自然保护区管理局对拉关木林进行了两次人工干预。第一次为间伐修枝，于 2018 年 2—3 月，在垂直海岸方向隔行间伐，间伐强度 50%，间伐后拉关木株行距为 4 m×1 m，修枝时保留其主干 1 m×1.5 m 的冠幅，将其余侧枝全部砍除，少数保留了粗大的侧枝。第二次为修枝，在 2018 年 11 月对保留的拉关木再次修枝，砍伐生长出的侧枝，只保留主干。在间伐修枝前（2017 年 12 月）对研究样地的拉关木林进行样方调查。拉关木平均树高 5 m，胸径 4.3 cm，冠幅 1.89 m，郁闭度 0.92。林下红树植物主要分布在靠陆地一侧，在其他样方分布极少，其整体的均匀度较低。灌木层主要以角果木（*Ceriops tagal*）、拉关木、白骨壤和秋茄（*Kandelia obovata*）为主，平均树高 0.98 m，基径 1.8 cm；草本层以拉关木居多，乡土种为红海榄（*Rhizophora stylosa*）、角果木和海莲（*Bruguiera sexangula*），属于零星分布的状态。

1.2 样地设置和调查

1.2.1 间伐修枝后拉关木残留树桩萌生及林下乡土红树植物的自然恢复

设置 3 种样地：一次干预样地（只经过一次间伐修枝的拉关木林地），两次干预样地（再次修枝的拉关木林地），未间伐样地（未进行人工干预的拉关木林地）。

间伐后第 4 年（2022 年 1 月）对上述 3 种样地的拉关木林展开调查。在 2 种干预样地中分别随机抽取 6 条间伐行清点有萌枝的残桩数（萌生数）、每桩萌枝数，测量萌枝枝高和基径。在 3 种样地中分别设置 3 个 5 m×5 m 的灌木样方，调查乡土红树种类、株数并测量乡土红树植物的株高、基径和冠幅；同时在每个灌木样方中设置 1 个 1 m×1 m 的草本样方，调查乡土红树种类、株数和平均株高。划分如下：灌木为 50 cm<高度<3 m；草本为高度<30 cm（全国森林资源标准化技术委员会，2020；王佳佳等，2022）。

1.2.2 间伐修枝后拉关木林下乡土红树植物的人工恢复

设置 3 种类型的样地，即前述的未间伐样地，一次干预样地，以及林缘裸滩样地，以下简称为未间伐样地、间伐样地、林缘样地。在 3 种类型样地中分别种植 2 种乡土红树植物红海榄和秋茄一年半生苗。在每种类型的样地中按乡土种设置样方，每种乡土红树种设置 3 个 5 m×5 m 的重复样方，共计 6 个样方。在每个样方中分别种植 16 株乡土红树植物幼苗（取自东寨港的苗圃），种在拉关木的行列中间位置，幼苗间距约为 1 m。在 2018 年 10 月至 2019 年 10 月，每隔 3 个月对乡土红树植物生长指标和环境因子进行观测；2021 年 6 月（间伐后第 3 年）再次观测，并调查样方内照度（深达威 Sw-582 数字光照度计）、土壤 pH（正大 ZD-18 智能数字式 pH 专用速测仪）、土壤温度和土壤盐度（顺科达 TR-6D 土壤多功能测试仪）4 个环境因子。

1.3 数据处理

拉关木残桩萌生率=每间伐行萌生数/19×100%（每间伐行的拉关木残桩平均个数为 19）；萌枝数=每间伐行萌枝总数/每间伐行萌生数；存活率=存活株数/16×100%。所有数据均采用 Excel 和 SPSS 25.0 进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 拉关木残桩对间伐修枝效果的影响

间伐后第 4 年，一次干预和两次干预处理的拉关木残桩均有萌生现象，萌生率分别为 12.93%、5.26%，萌枝数分别为 2.81、1.69，说明 2 种干预处理均未能彻底清除拉关木。2 种干预样地的残桩萌枝的最大枝高均能达 300 cm 以上，基径达 4 cm 以上，表明拉关木可通过残桩无性繁殖削弱间伐修枝效果（图 1）。拉关木残桩萌生率、萌枝数以及最大枝高、基径在 2 种干预处理间差异不显著（*P*>0.05）。

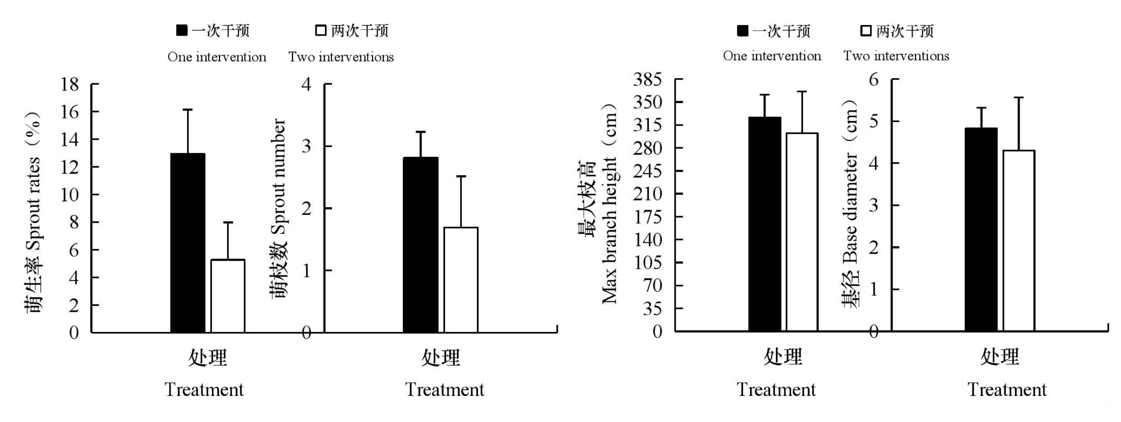


图 1 间伐修枝后拉关木残桩萌生情况（间伐后第 4 年）

Fig. 1 *Laguncularia racemosa* stump sprouting status after pruning(The 4th year after thinning)

2.2 间伐修枝后拉关木林下乡土红树植物的自然更新

间伐前，林下乡土红树植物零星分布。间伐后第 4 年，仅人工干预样地有乡土红树植物分布（表 1）。灌木层中，一次干预样地中观测到的乡土红树植物种类最多，有白骨壤、角果木和秋茄，两次干预样地仅观测到白骨壤，未间伐样地未观测到乡土红树植物；草本层仅在两次干预样地中观测到秋茄。乡土红树植物的株数不论在灌木层还是草本层，3 种样地之间均无显著差异。说明未间伐样地无乡土红树植物自然更新，未间伐样地的环境已不利于乡土红树植物的生长；人工干预能促进乡土植物自然更新，但间伐后第 4 年促进作用未达显著水平。

表 1 间伐修枝后拉关木林下乡土红树植物的组成及数量（间伐后第 4 年）

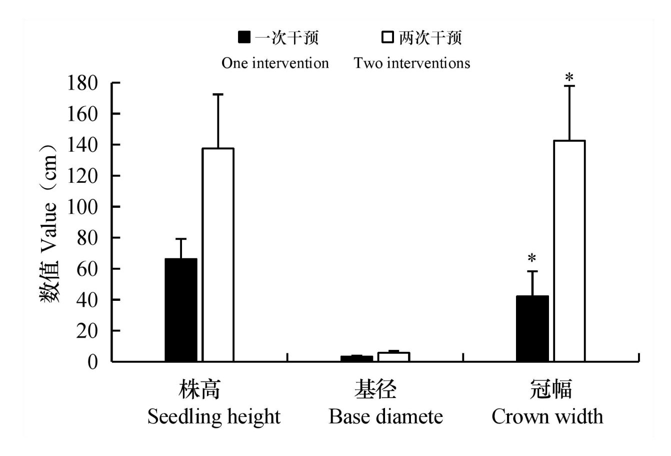
Table 1 Composition and quantity of native mangrove plants after thinning and pruning (The 4th year after thinning)

处理 Treatment	灌木层 Shrub layer		草本层 Herbaceous layer		
	种类 Species	株数 Number（plant）	种类 Species	株数 Number（plant）	株高 Seedling height（cm）
未间伐 Non-thinning	—	0a（0）	—	0a（0）	—
一次干预 One intervention	白骨壤、角果木、秋茄 *Avicennia marina*, *Ceriops tagal*, *Kandelia obovata*	7.67a（6.67）	—	0a（0）	—
两次干预 Two interventions	白骨壤 *Avicennia marina*	9.67a（4.91）	秋茄 *Kandelia obovata*	1a（1.65）	27

注：同列中不同字母表示各处理间差异显著（*P*<0.05）。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences among treatments（*P*<0.05）.

两次干预样地灌木层的乡土红树植物的株高、基径和冠幅均高于一次干预样地（图 2），且两次干预样地的冠幅显著高于一次干预样地（$P<0.05$）。可见，增强拉关木的间伐强度，对乡土红树植物的生长有一定促进作用。



未间伐样地无乡土红树植物存活，故不参与生长指标的比较。

No native mangrove plants survive in non-thinning plots, so it does not participate in the comparison of growth indicators.

图 2 间伐修枝后拉关木林下灌木层乡土红树植物的生长比较（间伐后第 4 年）

Fig. 2 Comparison of the growth of native mangrove plants in the shrub layer after pruning (The 4th year after thinning)

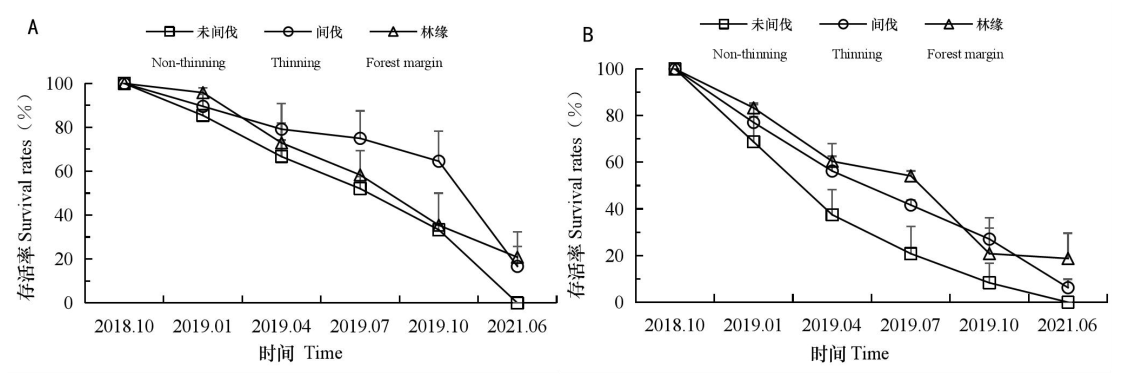
2.3 间伐修枝后拉关木林下乡土红树植物的人工恢复

2.3.1 不同类型样地中红海榄、秋茄存活率的动态变化

如图 3 所示，每种类型样地中 2 种红树幼苗存活率随着时间的推移而逐渐下降。并且在观测期末，未间伐样地的红海榄、秋茄的存活率都为零。

红海榄幼苗存活率（图 3：A）在各观测时间段，未间伐、间伐、林缘 3 种样地间均无显著差异；观测结束时（2021 年 6 月），未间伐样地无红海榄存活，林缘样地的存活率为 20.83%，间伐样地为 16.67%。说明对拉关木进行 50%强度的间伐修枝，使红海榄在拉关木林下的生长条件已经接近拉关木林缘的生长条件。

在各观测时间段，秋茄幼苗存活率（图 3：B）在未间伐样地中最低，在林缘样地中最高（除 2019 年 10 月），且在 2019 年 7 月显著高于未间伐样地（$P<0.05$）。间伐后第 3 年（2021 年 6 月），秋茄存活率在林缘样地为 18.75%，间伐样地为 6.25%，未间伐无秋茄存活，但三者间差异不显著。表明对拉关木进行 50%强度的间伐修枝，能促进秋茄幼苗的存活，但未达到显著水平，且随着间伐时间的推移，促进作用逐渐减弱。



A, B 分别为红海榄和秋茄在 2018—2021 年的存活率变化。

A, B are the survival rate changes of *Rhizophora stylosa* and *Kandelia obovata* in 2018−2021, respectively.

图 3 不同类型样地中人工种植的红海榄、秋茄幼苗存活率的动态变化

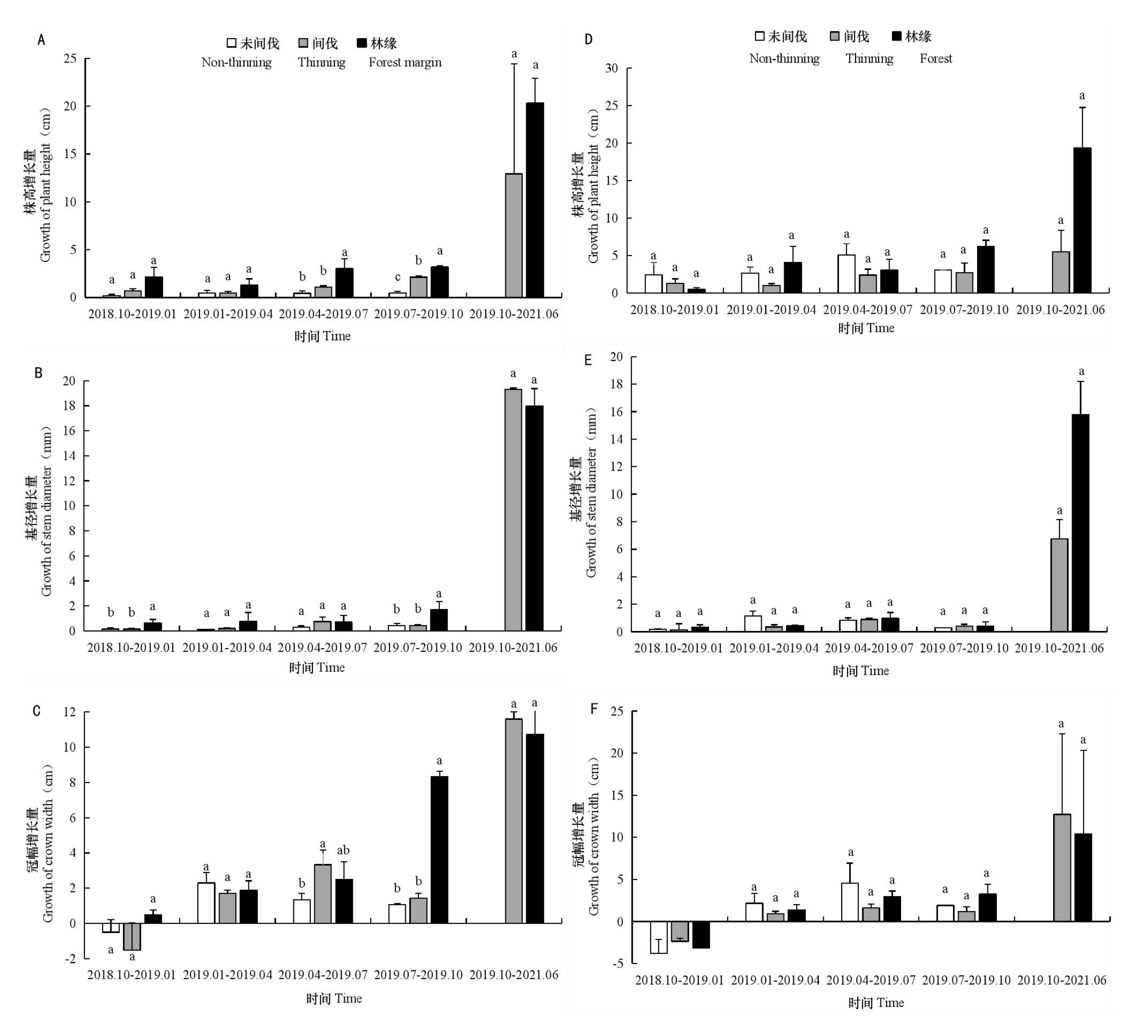
Fig.3 Dynamic changes of the survival rate of cultivated *Rhizophora stylosa* and *Kandelia obovata* seedlings in different types of plots

2.3.2 不同类型样地中红海榄、秋茄生长增量的变化

红海榄幼苗的株高、基径、冠幅增长量如图 4：A，B，C 所示。在 2018.10—2019.10 一年中，随着间伐时间的推移，红海榄的株高增长量在 3 种样地中有显著差异，即在 2019.04—2019.07、2019.07—2019.10 时间段，林缘样地的红海榄株高增长量显著高于间伐、未间伐样地，间伐样地在 2019.07—2019.10 时间段显著高于未间伐样地；但在 2019.10—2021.06 期间，林缘样地和间伐样地两者间的株高增长量无显著差异，未间伐样地的红海榄全部死亡。基径增长量在后期时间段内（2019.07—2019.10）为林缘样地显著高于间伐、未间伐样地；但末期（2019.10—2021.06）间伐样地的基径增长量较大，与林缘样地无显著差异。在冠幅增长方面，未间伐样地和间伐样地在 2018.10—2019.01 时间段内显示为负值，是因为在种植初期，幼苗通过凋落树叶来减少蒸腾作用，保持自身的水分平衡；在后期 2019.04—2019.07 时间段间伐样地的红海榄冠幅增长量显著大于未间伐样地，2019.07—2019.10 时间段为林缘样地显著大于间伐、未间伐样地；但末期（2019.10—2021.06）间伐样地的红海榄冠幅增长量大，与林缘样地之间无显著差异。表明红海榄在林缘样地中生长最快，其次是间伐样地，但随着间伐后时间的延长，到间伐后第 3 年，间伐样地的红海榄生长量与林缘样地的越来越接近，未间伐样地内生长较慢且最终全部死亡。说明对拉关木林进行 50%强度的间伐修枝，随时间的延长，能对林下红海榄幼苗的生长有一定促进作用。

如图 4：D，E，F 所示，三个样地类型的秋茄的株高、基径和冠幅增长量在各时间段内均无显著性差异（$P>0.05$）。但末期（2019.10—2021.06），未间伐样地秋茄幼苗无存活，间伐样地的秋茄幼苗株高、基径增长量低于林缘样地，冠幅增长量高于林缘样地，但 2 种样地间无显著差异。说明 50%强度的间伐修枝对秋茄前期的生长影响不大，但间伐后第 3 年，可使秋茄的生长与林缘样地无显著差异。

总体而言，对拉关木进行 50%强度的间伐修枝对红海榄幼苗的存活和生长有一定的促进作用，在间伐后第 3 年可使红海榄的生长条件接近林缘，对秋茄的生长仅间伐后第 3 年有微弱促进作用。



A, B, C 分别为红海榄的株高增长量、基径增长量、冠幅增长量变化；**D, E, F** 分别为秋茄的株高增长量、基径增长量、冠幅增长量变化。同一时间段内柱形图上不同小写字母表示处理间差异显著（P<0.05）。

A, B, C are the changes in the growth of plant height, stem diameter and crown width of *Rhizophora stylosa* respectively; **D, E, F** are the changes in the growth of plant height, stem diameter and crown width of *Kandelia obovata* respectively. Different lowercase letters on the bar graphs within the same period indicate significant differences between treatments (P<0.05).

图 4 不同类型样地中人工种植的红海榄、秋茄生长增量变化

Fig.4 Dynamic changes of the growth increment of cultivated *Rhizophora stylosa* and *Kandelia obovata* seedlings in different types of plots

2.3.3 红海榄、秋茄的存活率和生长增量与环境因子的相关性

由表 2 可知，间伐后第 3 年，对红海榄的存活率、生长增量与环境因子进行双变量 Pearson 检验结果显示，红海榄的存活率和各生长增量与各环境因子之间在统计意义上不相关。如表 2 所示，秋茄的存活率与下层/冠层照度比、土壤温度呈显著正相关，与土壤 pH 呈显著负相关，说明在一定范围内，照度比、土壤温度越高，秋茄存活率越高，而土壤 pH 较高会抑制秋茄的存活；秋茄的株高、基径增长量与照度比、土壤温度呈显著正相关，即照度比、温度越高，秋茄的株高和基径的增量越大；且秋茄株高增长量还与土壤盐度呈正显著相关。

表 2 红海榄、秋茄存活率和生长增量与环境因子的相关性分析（间伐后第 3 年）

Table 2 Correlation analysis of survival rate and growth increment of *Rhizophora stylosa* and *Kandelia obovata* and environmental factors(The 3rd year after thinning)

树种	指标	下层/冠层照度比	土壤温度	土壤 pH	土壤盐度

Species	Index	Lower canopy/Canopy iluminance ratio	Soil temperature	Soil pH	Soil salinity
红海榄 *Rhizophora stylosa*	存活率 Survival rate	0.41	0.624	-0.411	-0.209
	株高增长量 Growth of plant height	0.408	0.487	0.054	0.506
	基径增长量 Growth of stem diameter	-0.433	-0.551	-0.3	-0.03
	冠幅增长量 Growth of crown width	-0.078	-0.007	-0.094	0.265
秋茄 *Kandelia obovata*	存活率 Survival rate	0.672*	0.700*	-0.772*	0.001
	株高增长量 Growth of plant height	0.909*	0.895*	-0.834	0.879*
	基径增长量 Growth of stem diameter	0.912*	0.964**	-0.729	0.845
	冠幅增长量 Growth of crown width	0.013	0.115	0.198	0.049

注：表中数值为相关系数 *r* 值。*和**分别表示在 $P<0.05$ 水平显著相关和在 $P<0.01$ 水平极显著相关。表中的生长指标增量时间段为 2019.10—2021.06。

Note: The values in the table are the values of the correlation coefficient *r*. * and ** indicate significant correlation at $P<0.05$ level and highly significant correlation at $P<0.01$ level, respectively. The growth index increment time period in the table ranged from 2019.10 to 2021.06.

3 讨论与结论

3.1 人工干预调控外来红树与乡土红树植物的关系

人工干预是研究生物多样性的一个重要内容之一（任立忠等，2000）。抚育间伐后林下植被的多样性、盖度等显著增加（董凯丽等，2019；Li et al., 2020；王佳佳等，2022）。在本研究中，海南东寨港国家级自然保护区管理局对外来红树拉关木林进行了 50%强度的间伐修枝处理，拉关木在单位面积上的株数显著减少，群落密度下降，林内的光照环境得到改善，促进了林下灌木层乡土红树的生长，且两次干预比一次干预的效果好，这与汤景明等（2018）的研究结果一致。这是因为间伐强度的提高使资源竞争减弱，所以间伐强度高的样地木本植物组成的改变更明显（邓送求等，2010）。与未间伐样地相比，2 种人工干预对乡土红树植物草本层的自然更新都没有明显影响，这与何诗雨（2017）在其研究中发现的人工间伐对引种红树林下乡土红树植物数量的显著增加不同。这可能是因为距离间伐已过去了 4 年，拉关木的迅速生长导致林冠层很快郁闭，林下光照逐渐变弱，温湿度等环境条件未达到林下草本植物的需求，且一般来说，林下草本层植物对环境的变化更敏感（Gilliam, 2007；徐扬等，2008）。

研究林下植物的存活与生长对预测种群的发展动态有重要的意义，植物幼苗的生长指标也是评价植物是否能够成功定植的一个重要的因子（吴小琪等，2019）。对拉关木林进行林分密度调整后，在不同类型样地中人工种植乡土红树苗木的存活率和生长情况的研究结果表明，间伐修枝能提高红海榄幼苗存活率，在 3 种类型样地间虽未达显著差异，但在观测结束时，未间伐样地无红海榄存活，间伐样地和林缘样地的存活率接近；与未间伐样地相比，间伐对红海榄的株高有显著促进作用，且在间伐后第 3 年使红海榄的生长条件接近林缘样地。可见，对拉关木进行 50%强度的间伐修枝对红海榄幼苗的存活和生长条件具有一定改善效果，但效果有限。与其他 2 种样地相比，间伐修枝对秋茄的存活和生长促进作用较微弱，这是因为秋茄为喜光植物，存活率、生长增量与光照强度呈显著正相关，在光照充足、高温的条件下才能生长良好（郑熊，2022），表明 50%强度的间伐修枝可能未使拉关木林下环境达到秋茄生长健壮的要求，并且随着间伐后时间的延长，间伐样地的秋茄存活率下降的幅度超过了林缘样地。这说明拉关木保留木随时间的推移，被修剪的枝条重新生长，使林下光照变弱。因此，建议加大拉关木间伐修枝的强度或增加修枝频率。

3.2 间伐修枝的效果

正如前述，通过间伐修枝可以减少拉关木林木的密度，使得林分更加通风和透光，为林下植物提供更多的空间和光照等条件（王杰和杨中宁，2022）。然而，随着间伐后时间的延长，林木间伐在空间和时间上的优势逐渐减弱。萌枝是树木自然更新的方式之一，是植物的重要生活史特征（Bellingham & Sparrow, 2000）。本研究中，对拉关木间伐修枝是为了促进拉关木林向乡土红树植物群落转变。因此，调查拉关木残桩的萌生、萌枝等，可以从侧面衡量间伐修枝拉关木的效果。调查结果显示，间伐后第 4 年，两次干预处理和一次干预处理拉关木、木荷（*Schima superba*）（王希波，2006）通过残桩萌生更新的效果一致。2 种干预处理的拉关木残桩均有萌生，未能彻底清除拉关木，残桩萌生的枝条可高达 300cm 以上，从而占据较高的位置不易被遮光（Bellingham et al., 1994），其萌枝还可通过伐根吸收充足的水分和养分保证自身健壮生长（陈沐等，2008）。这表明拉关木可通过残桩的萌枝生长削弱间伐修枝的效果，可能会进一步影响乡土红树植物的生长。故在进行拉关木间伐修枝时，应注意控制残桩的萌生，以充分发挥间伐修枝的正面效果。

综合来看，对拉关木进行 50%强度的间伐修枝，对林下乡土红树植物恢复具有一定促进作用，但效果有限。因此，为了更好的将拉关木林乡土化改造和防止间伐后的拉关木残桩因萌生而恢复其种群，建议在 50%强度的间伐修枝基础上加大间伐伐强度或每年持续修枝处理，并在林下适当进行乡土红树的人工种植，同时应清除拉关木残桩萌生的枝条。

参考文献：

陈沐，房辉，曹敏，2008. 云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林树种萌生特征研究[J]. 广西植物，28(5)：627-632. [CHEN M, FANG H, CAO M, 2008. Sprouting characteristics of sprouted woody plants in the mid-mountain humid evergreen broad-leaved forest on Ailao Mountain, Yunnan Province[J]. Guihaia, 28(5): 627-632.]

邓送求，闫家锋，王宇，等，2010. 间伐强度对不同林分类型下层物种多样性的短期影响[J]. 东北林业大学学报，38(3)：31-33. [DENG SQ, YAN JF, WANG Y, et al., 2010. Short-term effects of thinning intensity on species diversity of undergrowth layer in different stands[J]. J NE For Univ, 38(3): 31-33.]

董凯丽，张国湘，王瑞辉，等，2019. 抚育间伐对湿地松人工林生长及林下植被多样性的影响[J]. 林业资源管理，(4)：59-68. [DONG KL, ZHANG GX, WANG RH, et al., 2019. Effects of thinning on the growth of *Pinuse elliottii* plantation and the diversity of its undergrowth vegetation[J]. For Resour Manag, (4): 59-68.]

伏成秀，杨济达，张庆，等，2021. 间伐和不同引种植物对刺槐林下群落的影响[J]. 西南农

业学报，34(7):1534-1539.[FU CX, YANG JD, ZHANG Q, et al., 2021. Effect of inter-lumbering and introduction under forest on community of *Acacia pseudoacacia*[J]. SE Chin J Agric Sci, 34(7):1534-1539.]
全国森林资源标准化技术委员会，2020. 森林资源连续清查技术规程：GB/T 38590-2020[S]. 北京：国家林业和草原局调查规划设计院.
何诗雨，2017.人工间伐引种红树对乡土红树生长恢复影响的研究[D].深圳：深圳大学.[HE SY, 2017. The effect of artificial thinning of introduced mangrove on the growth and recovery of native mangrove[D]. Shenzhen: Shenzhen University.]
胡涛，丑庆川，何诗雨，等，2016.深圳湾红树林结构调控及自然恢复状况[J].生态学杂志，35(6)：1491-1496.[HU T, CHOU QC, HE SY, et al., 2016. Structural regulation and natural restoration of Futian Mangrove in Shenzhen Bay[J]. Chin J Ecol, 35(6): 1491-1496.]
黄木易，梁燕芳，苏福聪，等，2021.桉树不同间伐强度下套种乡土树种对林分生长和土壤理化性质的影响[J].中南林业科技大学学报，41(6):81-90.[HUANG MY, LIANG YF, SU FC, et al., 2021. Effects of interplanting native tree species on stand growth and soil physical and chemical properties under different thinning intensities of *Eucalyptus*[J]. J S Cent Univ Forest & Technol,41(6):81-90.]
李玫，廖宝文，郑松发，等，2004.无瓣海桑的直接引入对次生桐花树群落的扰动[J].广东林业科技，20(3):19-21.[LI M, LIAO BW, ZHENG SF, et al., 2004. Disturbance of directly introduction of *Sonneratia apetala* on the secondary *Aegiceras corniculatum* community[J]. For Environ Sci, 20(3):19-21.]
廖宝文，李玫，郑松发，等，2005.海南岛东寨港几种红树植物种间生态位研究[J].应用生态学报，16(3)：403-407.[LIAO BW, LI M, ZHENG SF, et al., 2005. Niches of several mangrove species in Dongzhai Harbor of Hainan Island[J]. Chin J Appl Ecol, 16(3): 403-407.]
刘明冲，叶平，谭迎春，等，2020.卧龙国家级自然保护区日本落叶松入侵影响调查初报[J].林业调查规划，45(5):51-54.[LIU MC, YE PING, TAN YC, et al., 2020. Preliminary report on impact of *Larix kaempferi* invasion in Wolong National Nature Reserve[J]. For Inventory Plann, 45(5):51-54.]
刘强，张颖，钟才荣，等，2019.外来红树植物拉关木入侵性研究[J].湖北农业科学，58(21)：60-64.[LIU Q, ZHANG Y, ZHONG CR, et al., 2019. Study on invasiveness of exotic mangrove species *Laguncularia racemosa* C. F. Gaertn[J]. Hubei Agric Sci, 58(21): 60-64.]
罗玉洁，2016.光照和氮沉降对外来植物刺槐、火炬树及三种本地植物的生长和种间关系的影响[D].济南：山东大学.[LUO YJ, 2016. Effects of light and nitrogen deposition on the growth and interactions of the exotic plants *Robinia pseudoacacia*, *Rhus typhina* and three native plant species[D]. Jinan: Shandong University.]
任立忠，罗菊春，李新彬，2000.抚育采伐对山杨次生林植物多样性影响的研究[J].北京林业大学学报，(4)：14-17.[REN LZ , LUO JC , LI XB, 2000. The effects of intermediate cutting on plant species diversity in Populus davidiana secondary forest[J]. J Beijing Forest Univ, (4): 14-17.]
汤景明，孙拥康，冯骏，等，2018.不同强度间伐对日本落叶松人工林生长及林下植物多样性的影响[J].中南林业科技大学学报，38(6):90-93.[TANG JM, SUN YK, FENG J, et al., 2018. Enfluence of thinning on the growth and the diversity of undergrowth of *Larix kaempferi* plantation forest[J]. J S Cent Univ Fore Technol, 38(6):90-93.]
王炳宇，杨珊，刘强，等，2020.外来红树植物无瓣海桑和拉关木在海南东寨港的人工种植

与自然扩散[J].生态学杂志，39(6)：1778-1786. [WANG BY, YANG S, LIU Q, et al., 2020. Artificial planting and natural spread of exotic mangrove species *Sonneratia apetala* and *Laguncularia racemosa* in Dongzhai Harbor, Hainan[J]. Chin J Ecol, 39(6): 1778-1786.]

王佳佳，贺涛，张沂，等，2022.间伐强度对阿尔泰山天然林下植被的影响[J].生态学报，42(23)：9761-9768. [WANG JJ, HE T, ZHANG Y, et al., 2022. Effects of thinning intensity on understory plant of natural forest in Altai Mountains, Xinjiang, China[J]. Acta Ecol Sin, 42(23): 9761-9768.]

王杰，杨中宁，2022.抚育间伐对林木生长及生态环境的影响[J].南方农业,16(10):60-62.

王希波，2006.天童地区常绿阔叶林萌枝更新特征与群落演替[D].上海：华东师范大学.[WANG XB, 2006. Resprouting and seeondary sueeession in evergreen broad-leaved forests, Tiantong[D]. Shanghai: East China Normal University.]

王震洪，段昌群，起联春，等，1998.我国桉树林发展中的生态问题探讨[J].生态学杂志，17(6)： 65-69. [WANG ZH, DUAN CQ, QI CL, et al., 1998. A preliminary investigation of ecological issues arising in the man-made forest of *Eucalyptus* in China[J]. Chin J Ecol, 17(6):65-69.]

吴小琪，杨圣贺，黄力，等，2019.常绿阔叶林林冠环境对栲幼苗建成的影响[J].植物生态学报，43(1)：55-64. [WU XQ, YANG SH , HUANG L, et al., 2019. Effects of forest canopy condition on the establishment of *Castanopsis fargesii* seedlings in a subtropical evergreen broad-leaved forest[J]. Chin J Plant Eco, 43(1): 55-64.]

吴长虹，翟明普，王超，2007.火炬树防控的初步研究[J].林业调查规划，32(6):25-28. [WU CH, ZHAI MP, WANG C, 2007. Preliminary study on control and prevention from *Rhus typhina*[J]. For Invent Plan,32(6):25-28.]

向言词，彭少麟，周厚诚，等，2002.外来种对生物多样性的影响及其控制[J].广西植物，22(5):425-432. [XIANG YC, PENG SL, ZHOU HC, et al., 2002. The impacts of non-native species on biodiversity and its control[J]. Guihaia, 22(5):425-432.]

徐扬，刘勇，李国雷，等，2008. 间伐强度对油松中龄林人工林林下植被多样性的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版)，32 (3)：135-138. [XU Y, LIU Y, LI GL, et al., 2008. Effects of the thinning intensity on the diversity of undergrowth vegetation in *Pinus tabulaeformis* plantations[J]. J Nanjing For Univ(Nat Sci Edi), 32(3): 135-138.]

郑熊，2022.东寨港3种红树植物光合生理特征研究[D].海口：海南师范大学. [ZHENG X, 2022. Study on photosynthetic physiological characteristics of three mangrove plants in Dongzhai Gang[D]. Haikou: Hainan Normal University.]

钟才荣，李诗川，杨宇晨，等，2011.红树植物拉关木的引种效果调查研究[J].福建林业科技，38(3)：96-99. [ZHONG CR, LI SC, YANG YC, et al., 2011. Analysis of the introduction effect of a mangrove species *Laguncularia racemosa*[J]. J Fujian For Sci Technol, 38 (3): 96-99.]

BELLINGHAM PJ , TANNER EVJ, HEALEY JR, 1994. Sprouting of trees in jamaican montane forests, after a hurricane[J]. J Ecol, 82(4): 747-758.

BELLINGHAM PJ, SPARROW AD, 2000. Resprouting as a life history strategy in woody plant communities[J]. Oikos, 89(2): 409-416.

GILLIAM FS, 2007. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems[J]. Bioscience, 57(10): 845-858.

LI XK, LI YA , ZHANG J, et al., 2020. The effects of forest thinning on understory diversity in China: A meta-analysis[J]. Land Degrad Dev, 31(10): 1225-1240.